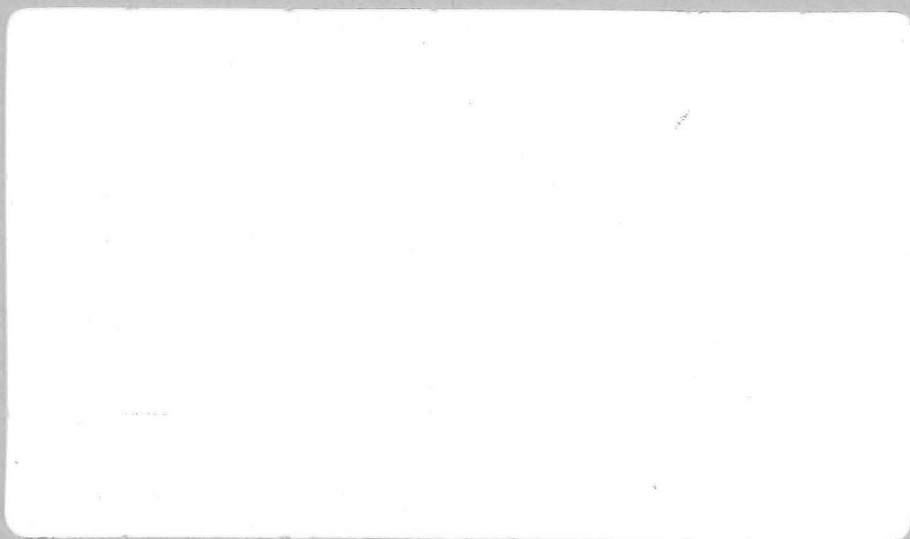


Ministerie van Openbare Werken en van Wederopbouw
Bruggen en Wegen
Bestuur der Waterwegen



Waterbouwkundig Laboratorium
Borgerhout-Antwerpen

EURISOTOP.

0307 006 7036

RAPPORT Nr. 1.

STERLING André,
Hoofdingenieur-Directeur van Bruggen en Wegen,
Directeur van het Waterbouwkundig Laboratorium.

Beweging van vaste stoffen in water.

Algemene technische en economische problemen.

Het vraagstuk van de Schelde, toegang tot de
Haven van Antwerpen.

I. INLEIDING.

De methode der radio-actieve tracers is van groot belang voor de studie der vraagstukken in verband met de zeescheepvaart in België; ik zal mij nochtans beperken tot de problemen die betrekking hebben op het baggeren van het zand in de Schelde en de toegangsgeulen tot deze rivier.

De Schelde stroomt door vlakke gebieden, heeft een klein hydrografisch bekken en mondt uit in een zee aan het getij onderhevig en met een belangrijke kustdrift.

De gebeurlijke aanzanding geschiedt dus van afwaarts, want het bovendebiet en de daarmee gepaard gaande zandaanvoer zijn gering.

Het estuarium van de Schelde is van betrekkelijk recente oorsprong en de configuratie van de geulen en van de banken verandert volgens door de rivier opgelegde wetten. De uitgevoerde werken in het verleden bestonden in het bouwen van dijken en het baggeren op de drempels.

Het zijn slechts de in uitvoering zijnde normalisatiewerken die aan het rivierbed een nieuwe vorm zullen geven met het doel de scheepvaart te vergemakkelijken. Hoe belangrijk deze werken ook wezen, toch moeten wij rekening houden met het feit dat, na de uitvoering er van, de scheepvaartgeulen door de eb- en vloedstromen zullen moeten onderhouden worden.

De goede kennis van het mechanisme van het zandtransport is dus van het grootste belang.

Alhoewel de methode der radio-actieve tracers bij ons nog niet in dit verband toegepast werd, wordt van het principe der tracers uitvoerig gebruik gemaakt in het Waterbouwkundig Laboratorium.

Alvorens de modelproeven te beschrijven, is het nuttig in het kort de karakteristieken van het regime der rivier te bespreken.

	Waterhoogten in m			Duur in uren en minuten		Bovendebiet in m ³		Vloedvolume in 10 ³ m ³	
	H. W.	L. W.	Tijverschil	Vloed	Eb	per seconde	per getij	Vloed	Eb
Vlissingen	4,28	0,62	3,66	6h12	6h13	118	5.274.600	1.065.288	1.070.562
Walsoorden *	4,62	0,34	4,28	5h55	6h30	95,5	4.268.850	357.234	361.502
Antwerpen	4,95	0,28	4,67	5h42	6h43	80,5	3.598.350	62.769	66.367
Dendermonde	4,85	1,67	3,18	4h28	7h57	26,65	1.191.255	4.278	5.470
Gent	4,85	3,09	1,76	-	12h25	25,75	1.151.025	-	1.151

	Maximum debiet		Dwarsdoorsnede in m ²		Gemiddelde snelheid in m/sec.		Maximum snelheid in m/sec.	
	Vloed m ³ /sec.	Eb m ³ /sec	H. W.	L. W.	Vloed	Eb	Vloed	Eb
Vlissingen	95.300	71.500	97.200	78.175	0,52	0,56	1,01	0,83
Walsoorden *	32.300	21.700	38.125	25.050	0,51	0,49	0,91	0,69
Antwerpen	4.800	4.075	5.530	3.690	0,60	0,62	0,88	0,85
Dendermonde	446	282	579	292	0,56	0,50	0,87	0,62
Gent	-	25,75	128	56	-	0,32	-	0,46

* ongeveer 6 Km opwaarts Hansweert.

II. DE SCHELDE.

De haven van Antwerpen is gelegen op 80 km van de Scheldemonding. De eerste 70 km van de afwaartse loop van de Schelde bevinden zich op Nederlands grondgebied alwaar de rivier eerder het uitzicht heeft van een zeearm. Het is pas vanaf de Nederlandse-Belgische grens dat ze de vorm aanneemt van een rivier met bijna gelijklopende oevers (figuur 1).

De voortplanting van het getij in het Scheldebekken wordt gunstig beïnvloed door het feit dat de Schelde en haar bijrivieren doorheen een vlak gebied lopen.

Het getij op de Schelde wordt door een dam tegengehouden te Gent op 180 km van de monding en plant zich voort in de verschillende bijrivieren, namelijk in de Rupel, de Boven-Nete, de Kleine en de Grote Nete, de Dijle, de Senne en de Durme tot op de plaatsen aangeduid op de figuur 1.

Figuur 2 toont de gelijktijdige plaatselijke krommen van het gemiddeld getij van het jaar 1950 te Vlissingen (mondning) Hansweert, Antwerpen, Dendermonde en Gent.

Bijgevoegde tabel geeft ons een reeks uitslagen van de kubatuur van dit getij.

Men merkt op hoe klein het bovendebiet is in vergelijking met dit van het getij.

De Scheldebedding is hoofdzakelijk samengesteld uit zeer fijn zand (120 - 150 μ).

Figuur 3 geeft de Scheldeloop weer met haar vaarwater vanaf Hansweert tot Antwerpen. Dit vaarwater is vanaf de monding tot Hansweert breed en diep, doch meer opwaarts vertoont de rivier een reeks drempels alwaar de natuurlijke diepte slechts

6 tot 7 m onder het gemiddeld getij is.

Daar de scheepvaart enkel bij stijgend tij geschiedt, waren deze diepten voldoende tot in 't begin van deze eeuw; vanaf dit tijdstip evenwel moest men baggerwerken uitvoeren op de drempels als gevolg van de grotere diepgang van de schepen. Gezien deze laatste steeds groter werd moesten de baggerwerken in de loop der jaren meer en meer opgevoerd worden, in het bijzonder sinds de laatste oorlog.

Men bemerkt op figuur 4 (a) dat het gebaggerd kubiek van 3,6 miljoen m³ in 1950 tot 8,6 miljoen m³ in 1962 gestegen is.

Op het huidig ogenblik zijn de diepten op de drempels 9 m onder laagwater over een breedte van 200 m op Belgisch grondgebied en 9,50 m onder laagwater op Nederlands grondgebied, zoals blijkt uit de figuur 4 (b) die schematisch de ontwikkeling van het programma van de te onderhouden diepten op de drempels weergeeft.

Daar de afmetingen van de schepen, en in het bijzonder deze van de tankers en de ertsschepen, altijd groter en groter worden, is het noodzakelijk de scheepvaartmogelijkheden steeds te verbeteren.

Op Belgisch grondgebied kan de gebaggerde specie buiten de oevers opgespoten worden, doch op Nederlands grondgebied is men verplicht deze specie terug in de rivier te storten. Het is aldus noodzakelijk oordeelkundig stortplaatsen te kiezen om het rendement van de baggerwerken te verhogen.

Het is nochtans gebleken dat het niet mogelijk is, door baggerwerken alléén, een voldoende verbetering van de scheepvaartmogelijkheden te bekomen en dat verbeteringswerken dienen uitgevoerd te worden.

Het Waterbouwkundig Laboratorium van het Beheer van Bruggen en Wegen te Borgerhout-Antwerpen werd gelast met het bouwen van een groot Scheldemodel, ten einde deze problemen te onderzoeken.

Het eerste vraagstuk, namelijk : het zoeken van geschikte stortplaatsen, werd bestudeerd op dit model, van een vaste bodem voorzien en door middel van een beweegbaar materiaal dat het zand van de natuur voorstelt en dat op de stortplaatsen neergelegd wordt.

Voor de studie van het tweede probleem, namelijk dat der verbeteringswerken aan de rivier, wordt de vaste bodem vervangen door een beweegbare bodem in het gebied waar verbeteringswerken worden bestudeerd.

III. HET SCHELDEMODEL.

Het gedeelte der Schelde, door het model weergegeven, strekt zich uit vanaf Hansweert tot aan de toegangssluizen van de haven van Antwerpen. Dit gedeelte omvat de drempels waar regelmatig moet gebaggerd worden. Figuur 3 geeft de grenzen van het model aan.

De aangenomen schalen zijn $3/1000$ voor de lengten en de breedten en $1/100$ voor de hoogten.

De bodem van het model geeft de toestand van de jaren 1955 - 56 weer. Het getij wordt aan elk der uiteinden automatisch verwezenlijkt door een generator. De gelijkvormigheid van de getijkrommen met de natuur, van de tijdebieten, van de stroomsnelheden zowel wat hun grootte als hun richting betreft, van de verdeling van het debiet evenals van het zandtransport tussen de vaargeul en het schaar, wordt bekomen door het model van de geschikte ruwheid te voorzien.

IV. KEUZE DER STORTPLAATSEN VOOR DE BAGGERSPECIE.

Daar het grootste bodemtransport zich voordoet bij zware getijden, werden alle proeven op het model uitgevoerd met het springtij van 30 december 1955, hetwelk een zeer grote amplitude had.

Het beweegbaar materiaal, dat het zand in de natuur voorstelt en waarvan men de verplaatsingen nagaat, bestaat uit polystyreenkorrels die een doormeter hebben van 2,8 mm en een soortelijk gewicht van 1.05.

De in de handel voorkomende polystyreen moet, alvorens te kunnen gebruikt worden, een speciale behandeling ondergaan.

In eerste instantie werden de stortplaatsen onderzocht welke in de natuur op het huidig ogenblik gebezigd worden en nadien werden alle plaatsen, die hiervoor gebeurlijk in aanmerking zouden kunnen komen, onderzocht, d.w.z. plaatsen welke, rekening houdend met het getij, door een geladen baggervaartuig kunnen bereikt worden en waar tevens voldoende waterdiepte voorhanden is om de baggerspecie te kunnen lossen. De stortplaatsen zullen dus telkens gelegen zijn in de nabijheid van het vaarwater, zo niet in de ingangen van de scharen.

Als stortplaats werd in het model een zone genomen van 60 x 30 cm oppervlakte, met de langsas evenwijdig met de stroomrichting. Gedurende een bepaald aantal getijden werd, telkens bij kentering van hoogwater, een zekere hoeveelheid beweegbaar materiaal op de bodem neergelegd. Het ogenblik van kentering werd gekozen omdat uit talrijke voorafgaandelijke proeven gebleken was dat het ogenblik van het getij, waarop het materiaal neergelegd wordt, geen invloed heeft op het eindresultaat der proef.

Het opmeten der verplaatsingen van het beweegbaar materiaal geschiedde ofwel onmiddellijk na het neerleggen der laatste hoeveelheid beweegbaar materiaal, ofwel liet men het water nadien nog een bepaald aantal tijen stromen.

Meestal werd beweegbaar materiaal gedurende 20 achtereenvolgende tijen neergelegd met opmeting na het 65ste getij.

Daar polystyreenkorrels van verschillende kleuren gebruikt werden, was het mogelijk op verschillende plaatsen tegelijkertijd proeven uit te voeren.

Het uitvoeren van het programma vergde alzo het stromen van 1050 getijen.

In het algemeen gebeurden de proeven met het storten van 500 cm³; nochtans daar waar slechts een geringe verplaatsing werd vastgesteld, werd deze hoeveelheid verminderd tot 250 cm³ om geen ophoping van materiaal te krijgen en aldus een aanzienlijke topografische wijziging in het model teweeg te brengen.

De meetresultaten werden uitgedrukt in % t.o.v. de totaal gestorte hoeveelheid, dit alleen om toe te laten de verschillende proeven onderling te vergelijken.

Merken wij op, en dit om alle misverstand nopens de interpretatie der resultaten der proeven te vermijden, dat de uitslagen trouwens slechts een kwalitatieve en geen kwantitatieve waarde hebben.

*

*

*

Uitslagen van enkele proeven betreffende zekere karakteristieke stortplaatsen :

1° Linkeroever van het vaarwater ter plaatse "Konijnschor".

In de natuur wordt op deze plaats veel baggerspecie, afkomstig van de drempels van Valkenisse en van Bath, gestort.

Figuur 5 toont de plaatsen aan waar, na het 65ste getij, het materiaal, dat gedurende de 20 eerste tijen in de Konijnschor gestort, weergevonden werd.

Buiten een kleine hoeveelheid die zich afwaarts verplaatste en zich neerzette op de hoogte van de drempel van Valkenisse of in het Schaar van Valkenisse was binnengedrongen, werd vastgesteld dat de beweging van het materiaal bijna uitsluitend afwaarts was. Inderdaad, het grootste gedeelte werd weergevonden in het vaarwater en het overblijvend gedeelte bevond zich op de zuiderrand van de Platen van Valkenisse in het Schaar van Walsoorden, alwaar deze neerzetting de natuurlijke evolutie, welke bestaat in een bestendig uitwerken der Platen naar het vaarwater toe, nog zal bevorderen.

De linkeroever van het vaarwater, ter hoogte van de Konijnschor, is dus als stortplaats ongeschikt.

2° Rechteroever van het vaarwater langsheen de Platen van Valkenisse in de nabijheid van de ingang van het Schaar van Valkenisse.

Figuur 6 toont de verplaatsingen aan, na het 65ste getij, van het beweegbaar materiaal dat aldaar gedurende 20 achtereenvolgende tijen gestort werd.

De beweging was zeer langzaam en het grootste gedeelte van het materiaal bleef ter plaatse liggen. Het overige gedeelte verplaatste zich afwaarts, voornamelijk tot in het Schaar van Valkenisse.

Uit het voorafgaandelijke blijkt duidelijk dat de rechteroever van het vaarwater, langsheen de Platen van Valkenisse en in de nabijheid van de ingang van het Schaar van Valkenisse, beter geschikt is als stortplaats dan wel de linkeroever.

Proeven, uitgevoerd op andere plaatsen langsheen de rechteroever van het vaarwater, hebben overigens aangetoond dat het materiaal zo hoog mogelijk tegen de randen van de Platen van Valkenisse dient gestort te worden.

3° Schaar van de Noord.

In de natuur wordt aldaar veel baggerspecie gestort voortkomende van de baggerwerken ter hoogte van de drempels van Bath en van Valkenisse.

Figuur 7 geeft de uitslagen van de proeven na afloop van het 65ste getij. Het beweegbaar materiaal werd gestort bij kentering van hoogwater in het Schaar van de Noord gedurende de 20 eerste getijden.

Er werd vastgesteld dat :

- a) het gestorte beweegbaar materiaal zich niet tijdens de eb verplaatste; bij de daaropvolgende vloed daarentegen zet de ganse hoeveelheid zich in beweging in het Schaar van de Noord en wel naar het vaarwater opwaarts van Bath om zich uiteindelijk op de linkeroever van de vaargeul neer te zetten.
- b) Bij de daaropvolgende eb werd dit beweegbaar materiaal grotendeels door de stroom terug het Schaar van de Noord ingebracht; de gevolgde baan was echter nu reeds meer

noordelijker gelegen dan de eerste; het materiaal zette zich terug neer aan de afwaartse ingang van het Schaar van de Noord.

- c) De verplaatsingen vermeld onder a) en b) herhaalden zich bij de daaropvolgende tijen, zodat het materiaal een beweging over het platen- en geulencomplex van Saeftinge uitvoerde zoals weergegeven op figuur 7. Deze verplaatsing toonde aan dat na de derde vloed de eerste nederzettingen op de noordelijke rand van de Platen van Saeftinge in de Bocht van Bath reeds voorkwamen.
- d) Slechts een klein percentage van het beweegbaar materiaal, dat zich bij kentering van hoogwater neerzette langsheen de linkerwal van het vaarwater boven Bath, ging zich bij de daaropvolgende eb in het vaarwater naar afwaarts verplaatsen om also langs de Bocht van Bath te gaan.
- e) De neerzettingen van beweegbaar materiaal langsheen de noordelijke rand van de Platen van Saeftinge, vastgesteld vanaf de derde vloed, namen bij de daaropvolgende tijen gestadig toe. Een deel hiervan echter werd door de ebstroom meegevoerd door het Nauw van Bath om zich meer naar afwaarts toe neer te zetten ter hoogte van de drempel van Valkenisse. Vanaf de drempel van Valkenisse werd wederom een klein percentage door de eb verder naar afwaarts meegevoerd langs de rand der platen van Valkenisse om zich vervolgens neer te zetten, gedeeltelijk in het Schaar van Valkenisse, gedeeltelijk langs de noordelijke rand van het vaarwater van het Schaar van Walsoorden.

Hieruit kan besloten worden dat het Schaar van de Noord niet geschikt is om als stortplaats te gebruiken, vermits na een zekere tijd al het gestorte materiaal teruggevonden wordt in de Bocht van Bath en op de drempel van Valkenisse.

Uit de proeven is nochtans gebleken dat de baggerwerken, uitgevoerd aan de noorderkant van de platen van Saeftinge, ter hoogte van Bath, het onderhoud van de diepten op de drempel van Valkenisse gunstig beïnvloeden.

4° Schaar van Ouden Doel.

Figuur 8 geeft de uitslag van de proeven voor het materiaal gedurende 20 getijden gestort in het Schaar van Ouden Doel; de metingen hadden plaats na verloop van het 65ste getij.

Er werd een algemene opwaartse verplaatsing in het Schaar van Ouden Doel vastgesteld met nederzetting in het Schaar en op de Plaat van Ouden Doel.

Deze stortplaats kan als zeer geschikt beschouwd worden, daar geen materiaal in het vaarwater teruggevonden wordt.

V. DE TOEGANG TOT DE SCHELDE.

Men kan de Schelde vanaf de Noordzee langs twee verschillende wegen bereiken : langs het Oostgat en langs de Wielingen (zie figuur 1).

De toegang langs de eerste weg wordt gebruikt door de schepen die van de havens der Noorderlanden komen. De scheepvaart is begrensd door de diepte op de drempel van het Steendiep ten noorden van Westkapelle. Deze diepte bereikt slechts 8 m bij laagwater.

De tweede weg, die gebruikt wordt door schepen komende van het Nauw van Kales, loopt over twee drempels, die van de Wandelaar op ongeveer 40 km van Vlissingen en die van de Wielingen op 22 km.

De kleinste diepte op deze twee drempels is praktisch dezelfde, namelijk 8m60, dus groter dan deze op de drempel van het Steendiep bij de ingang van het Oostgat.

Sinds enkele jaren, ten gevolge van de bestendige toename der afmetingen en van de diepgang der schepen, zijn enige tankers en ertsschepen, afkomstig uit het noorden, verplicht hun weg voort te zetten naar het westen en dus langs de Wielingen te varen in plaats van langs het Oostgat. Dit vertegenwoordigt een omweg van 62 km.

Gezien de scheepvaart geschiedt bij stijgend getij en de snelheid van de getijgolf groter is dan deze van het schip, is het de eerste drempel, deze van de Wandelaar, die de mogelijkheden der scheepvaart naar Antwerpen toe, voor schepen met grote dieptegang, beperkt.

Het uitdiepen der drempels van de Wandelaar en van de Wielingen, door baggerwerken, om een grotere diepgang te bekomen, is jammer genoeg zeer duur en zal lange tijd in beslag nemen omdat deze drempels zich over ongeveer 6 km uitstrekken.

Een andere vaargeul, deze van het Scheur en die ten noorden van deze der Wielingen gelegen is, heeft ook twee drempels waarvan de eerste, die ten westen gelegen is, 1 m dieper is dan deze van de Wandelaar. De tweede vaargeul, die nabij de "Bol van Knokke" gelegen is, heeft dezelfde diepte als de drempel van Wielingen en heeft het voordeel dat zijn lengte slechts enkele honderden meters bedraagt.

Dit heeft als gevolg dat het te verkiezen is een vaargeul doorheen de drempel van het Scheur te baggeren dan wel de drempels van de Wandelaar en de Wielingen uit te diepen.

Baggerwerken werden in het Scheur uitgevoerd. Kortelings zal men zich rekenschap kunnen geven van de evolutie der verwezenlijkte diepte en de noodzakelijke onderhoudsbaggerwerken kunnen schatten.

VI. BESLUITEN.

Het onderzoek der hydrografische kaarten, opgemaakt aan de hand van opeenvolgende peilingen, laat toe de globale veranderingen in de configuratie der platen en geulen te bestuderen. Modelproeven echter verschaffen een inzicht in het werkelijke mechanisme van het verschijnsel, mechanisme dat aantoont hoe ingewikkeld het zandtransport is.

De bevestiging in de natuur van de kwalitatieve modelresultaten zou zeker toelaten het rendement der baggerwerken te verhogen door het aanbrengen van zandvangsers gelegen op uit te kiezen trajecten buiten het hoofdvaarwater, daar waar de baggerwerktuigen geen hinder vormen voor de scheepvaart.

Tot hiertoe stuit het gebruik van radio-actieve tracers op de Schelde op de volgende moeilijkheden :

- de grote stroomsnelheden (orde van grootte 2 m/sec) en de aanzienlijke zandverplaatsingen gedurende een eb of een vloed.
- het afwisselen van vloed en eb laat niet toe de werkelijke baan van de zanddeeltjes te volgen, slechts de resulterende beweging is waarneembaar.
- de verplaatsing van een zandbank gebeurt door de geleidelijke aangroei van zijn talud, zodat de getransporteerde materialen

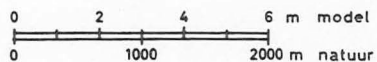
STORTPLAATS

KONJNENSCHOR - Linkerkant van de vaargeul

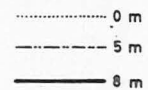
Storting van 500 cc. bij kentering hoogwater
gedurende 20 opeenvolgende getijden.

Toestand na 65 getijden.

SCHAAL



DIEPTELIJNEN



onder het vergelijkingsvlak
van het Krijgsdepot

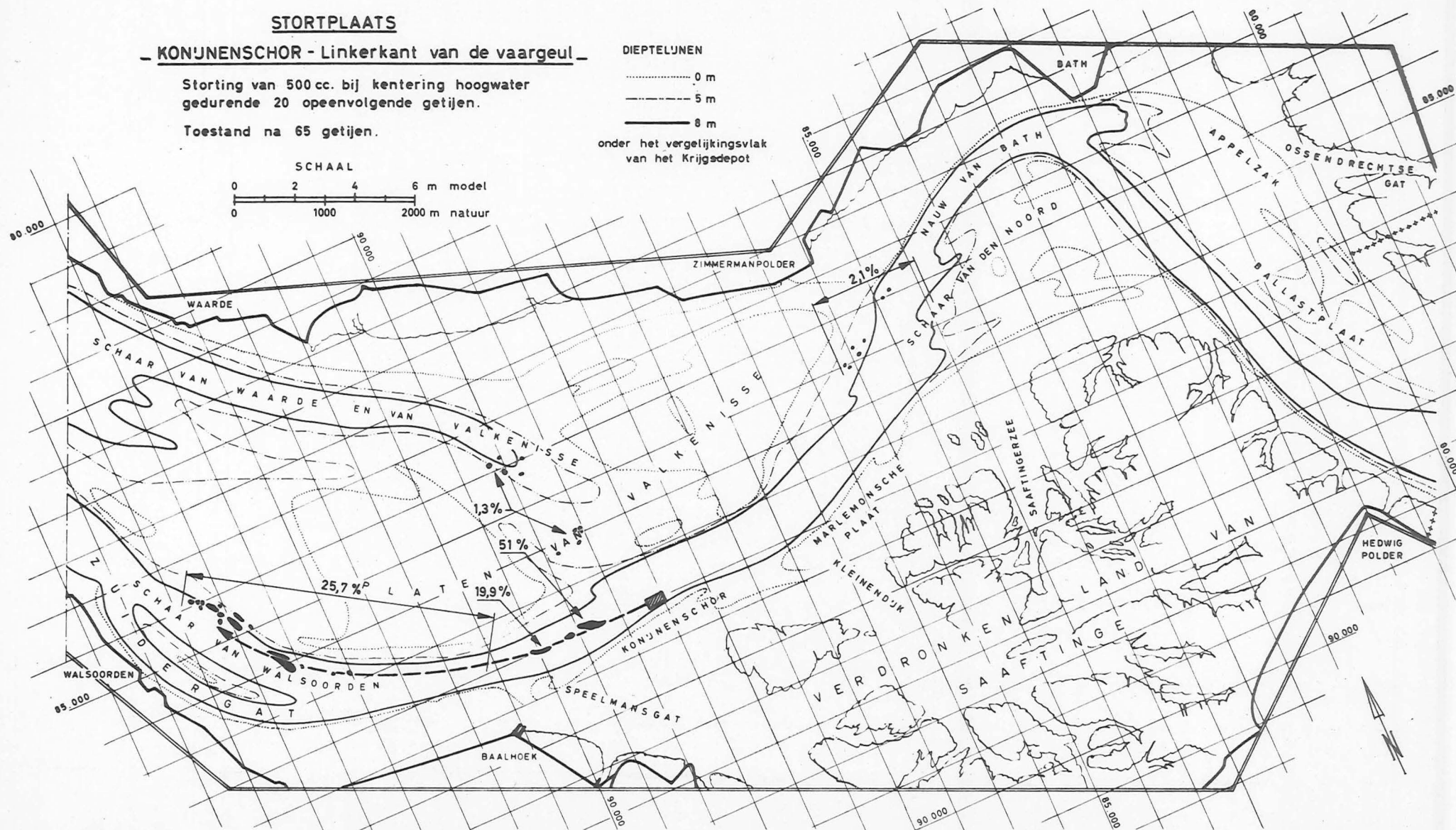
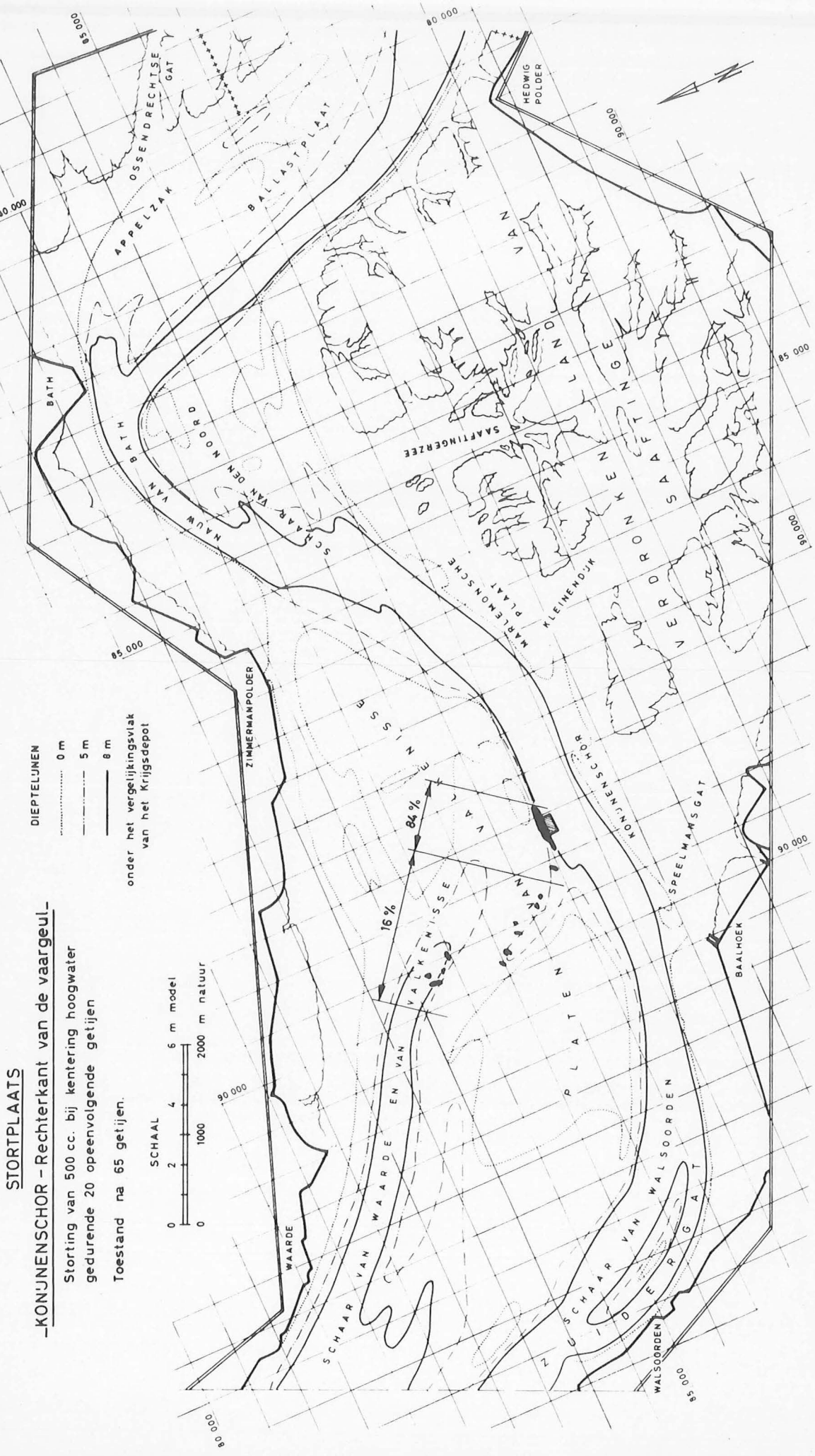


Fig. 5

Fig. 6



STORTPLAATS
— SCHAAR VAN DEN NOORD —
 Storting van 500 cc. bij kentering hoogwater
 gedurende 20 achtereenvolgende getijden.
 Toestand na 65 getijden.

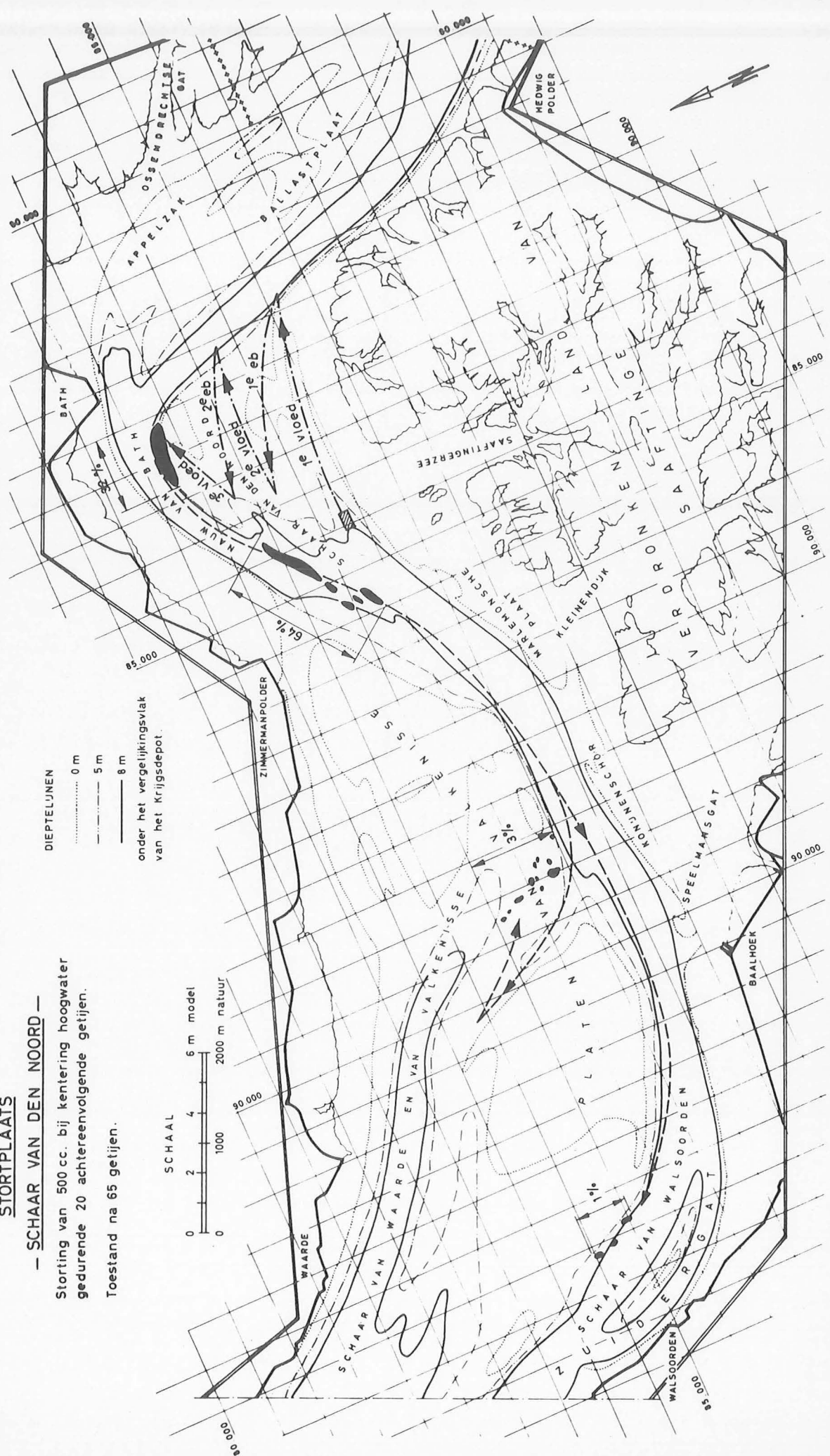


Fig. 8

